

シネ磁気共鳴画像による心
腔内血流動態の検討：弁逆
流疾患における有用性につ
いて

Clinical evaluation of
regurgitant blood flow
by rapid cine magnetic
resonance imaging in
patients with valvular
heart disease

大西 修作***
福井須賀男
渥美 千里
守田瑠璃子
藤井 謙司*
楠岡 英雄*
北畠 顕*
鎌田 武信*
滝沢 修**

Shusaku ONISHI***
Sugao FUKUI
Chisato ATSUMI
Ruriko MORITA
Kenshi FUJII*
Hideo KUSUOKA*
Akira KITABATAKE*
Takenobu KAMADA*
Osamu TAKIZAWA**

Summary

The clinical usefulness of magnetic resonance imaging (MRI) for evaluating regurgitant blood flow in patients with valvular heart disease was studied. The study subjects comprised three healthy volunteers and nine patients with valvular heart disease (aortic regurgitation 3, mitral regurgitation 2, tricuspid regurgitation 2, and pulmonary regurgitation 2). Five were men and seven were women, ranging in age from 31 to 85 years.

Valvular heart disease was diagnosed by two-dimensional Doppler echocardiography. MRI was performed using a 1.5 tesla super-conductive magnet system (MAGNETOM, Siemens AG). A rapid MRI technique (fast low-angle shot [FLASH], flip angle=30°, TR=65~90 msec, TE=10~38 msec) was used to generate 11 frames throughout one cardiac cycle in the transaxial, coronal and oblique planes. These sequential frames were displayed in cine mode on a CRT.

1. Intracavitary blood was imaged as a high signal intensity on gradient echo images, while surrounding cardiac structures had somewhat lower signal intensities.

オリオノ和泉病院 循環器センター
大阪府和泉市伏屋町 348-1 (〒594)
*大阪大学医学部 第一内科
**シーメンスメディカル
*** (現)大阪労災病院 循環器科
堺市長曽根町 1179-3 (〒591)

Division of Cardiology, Oriono-Izumi Hospital, Fu-
seya-cho 348-1, Izumi-shi, Osaka 594
*The First Department of Medicine, Osaka University
Medical School
**Siemens Medical Co.
***Division of Cardiology, Osaka Rohsai Hospital,
Sakai 591

Received for publication April 23, 1988; accepted May 31, 1988 (Ref. No. 35-PS 96)

2. In healthy volunteers, systolic ejection blood flow from the left ventricle was observed on coronal images in the cine mode display. The influx of atrial blood into the left and right ventricles was also clearly observed on transaxial cine images.

3. Aortic regurgitant flow was observed as areas of no signal intensity within the left ventricular cavity during diastole on coronal images.

4. Mitral and tricuspid regurgitations were observed within the left and right atria, respectively, as areas of no signal intensity on transaxial images. The extent of regurgitant flow was determined in the vertical long-axis plane, equivalent to the right anterior oblique projection.

5. The vertical oblique scan was suitable for detecting pulmonary regurgitant flow.

These results indicate that the rapid cine MRI technique is a useful tool for noninvasively determining regurgitant blood flow in patients with various valvular heart diseases.

Key words

Cine magnetic resonance imaging (MRI)

Gradient echo

Valvular heart disease

Intracardiac flow

緒 言

心血管腔内の血流の把握は、弁逆流疾患の診断のみならず、心機能の評価に不可欠である。従来、心腔内血流の評価には超音波ドップラー法が広く用いられてきた¹⁻³⁾。超音波ドップラー検査法は非侵襲的かつ簡便な方法であり、血流情報をカラー表示することにより、血流をリアルタイムで可視化できる点で有用な検査法である。しかし、空間分解能が悪く、心臓の構造物と血流の関係が、必ずしも良好に描出されるとは限らない。更に超音波ビームの投入部位に制約があり、心臓全体を描出するのは困難である。

一方、シネ磁気共鳴画像 (MRI) は非侵襲的で計測断面が任意に設定できる利点があるため、心あり、臓の画像診断に有用な検査法である。また、最近開発された gradient echo 法を用いると、心臓の構造物とともに心腔内血流が高信号に描出される⁴⁻⁶⁾。更に、得られた連続画像をシネモードにてループ表示することにより、血流動態を動画像として観察できる。

本研究では、弁逆流疾患について MRI による弁逆流の検出を行い、その臨床上の有用性につき検討した。

対象と方法

対象は健常人 3 例、弁逆流疾患 9 例 (大動脈弁逆流 3 例、僧帽弁逆流 2 例、三尖弁逆流 2 例、肺動脈弁逆流 2 例) で、男 5 例、女 7 例、年齢 31~85 歳である。弁逆流疾患の診断は心エコー図法および超音波ドップラー法により行った。

使用 MR 装置は 1.5 Tesla 超伝導型 (MAGNETOM, Siemens AG) で、横断面、冠状断面、および横断面に垂直な斜位断面で撮像した。高速スキンのパルス系列としては、gradient echo 法である fast low-angle shot (FLASH) 法を用い、flip angle = 30°, TR = 65~90 msec, TE = 10~38 msec とした。心電図 RR 間隔を 11 分割したそれぞれの時相の連続画像を得た後、CRT 上にシネモード表示し、動画として解析した。MRI 検査施行前に超音波診断装置 (東芝製 SSH-65A) を用いて、断層心エコー図法により弁、心室壁などの心構造物を、カラードップラー法により心腔内血流を評価した。

結 果

1. 健常人における血流動態

健常人 3 例において、FLASH 法を用いて上行大動脈と左心室を縦断する冠状断面、および左心室中央レベルでの横断面の連続時相の 11 画像を

得た。各画像で心室壁、弁、大動脈などの構造物とともに、心腔内の血流が高信号に描出された。

Fig. 1A は本法により得られた冠状断面像を示す。左心室、上行および弓部大動脈が描出され、その内腔は高信号である。収縮期には大動脈内腔の弁上部に無信号領域を認め、この領域は順次上行大動脈上部へ移動している。同様に **Fig. 1B** は横断面像である。4心腔が同時に描出され、房室弁の開放とともに、拡張期に高信号の血液が左右心房から心室へ流入する像が認められた。このように、健常人において高速スキャンにより得られた画像をシネモード表示することにより、冠状断面で左心室から大動脈への駆出血流が、横断面で心房から心室への流入血流が、広い視野のもとで評価できた。

2. 弁逆流の評価

Fig. 2A に、大動脈弁逆流の1例のカラードップラー像を示す。拡張期左室長軸断面にて、大動脈弁からの逆流シグナルを認める。**Fig. 3** は同例の冠状断面 MR 像である。収縮期に均一な高信号を示す左心室内腔に、拡張期には涙滴状の無信号領域が描出されている。この無信号領域は大動脈弁口部から左室流出路に広がり、拡張期全画像に認められた。他の大動脈弁逆流の2例についても同様に、拡張期に左心室内に無信号領域を認めた。

Fig. 2B に僧帽弁逸脱症例のカラードップラー像を示す。心尖部からの四腔断面像にて、僧帽弁前尖の逸脱に伴う左心房内への逆流シグナルを認める。同例の MRI 横断面像においては、収縮期に左心房壁に沿う無信号領域を認めた (**Fig. 4**)。

Figs. 2C, D は、腱索断裂による僧帽弁逆流例のカラードップラー左心室長軸、および左心房短軸断面像である。**Fig. 5** に同例の MR 像を示す。拡大した左心房内に、収縮期に広範囲の無信号領域が認められた。更に、左心室長軸を含む冠状断面に角度をつけた斜位断面像で、頭尾方向への左心房の拡大と無信号領域の広がりが描出され、左心耳内にも逆流が及んでいることを示している。

Fig. 6 は三尖弁逆流例の MRI 横断面像、およ

び冠状断面に角度をつけた斜位断面像を示す。横断面像の検討から高度の三尖弁逆流が示され、更に左心房弁口部から下大静脈に及ぶ広範囲の逆流領域が斜位断面像で確認された。

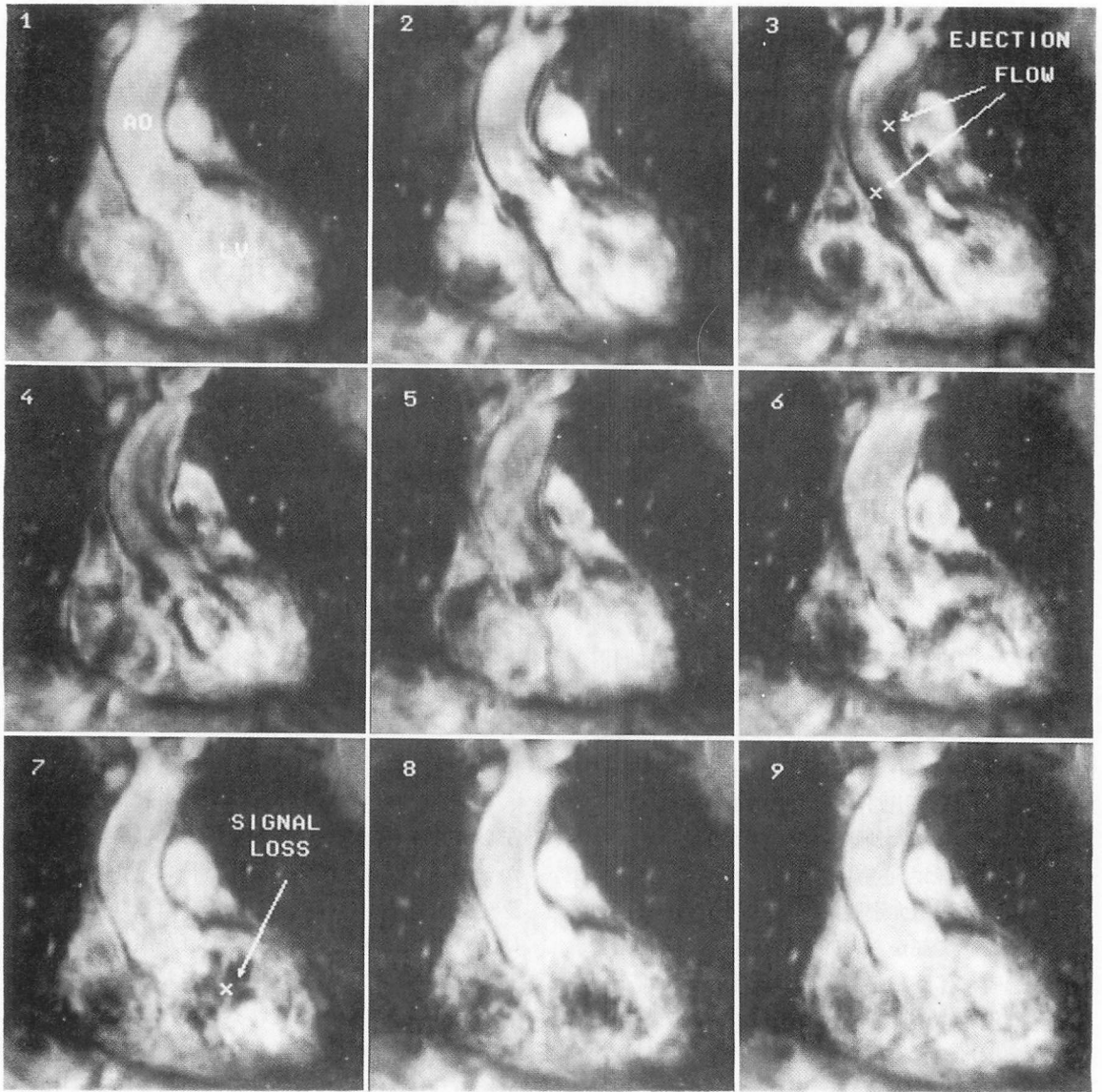
肺動脈弁逆流の MRI による描出では、横断面および冠状断面では逆流領域と周囲構造物の関係の把握が困難であり、右心室流出路の長軸を含む斜位断面が適していた (**Fig. 7**)。

考 察

MRI は非侵襲的であり、任意の断面設定が可能であることから、心臓の形態把握に有用な検査法である。しかし、従来用いられてきた spin echo 法では、流速の緩徐な場合以外には血流は無信号となり、弁逆流の評価はできなかった⁷⁾。これに対し、最近開発された gradient echo 法による高速スキャンでは、血流は高信号に描出され、周囲の心臓構造物との判別が可能である。更に撮像時間が短縮されるため、一心周期の多時相の像を描出することができ、得られた像をシネ表示することにより、心腔内血流を dynamic に可視化できる^{5,8)}。

本研究において、健常人の MRI 冠状断面にて左心室から大動脈への駆出血流を、横断面で心房から心室への流入血流を描出し得た。さらに、カラードップラー法にて弁逆流と診断された9例では、いずれも MRI により弁逆流が無信号領域として描出された。FLASH 画像において弁逆流が無信号領域として描出されるのは、傾斜磁場内を移動する血液の位相の乱れに起因している。この位相の乱れは血流の方向、速度および加速度に依存するとされ、一般の血流の速度、加速度が大きくなれば位相の乱れが大きくなる。また、血流の速い部位ではしばしば乱流が生じる。これらの因子が逆流領域の血液の位相を乱し、無信号領域を生じると考えられている^{9,10)}。

大動脈弁逆流は冠状断面像にて拡張期に涙滴状の無信号領域として描出された。Sechtem らは、大動脈弁逆流例で gradient echo 法により逆流を

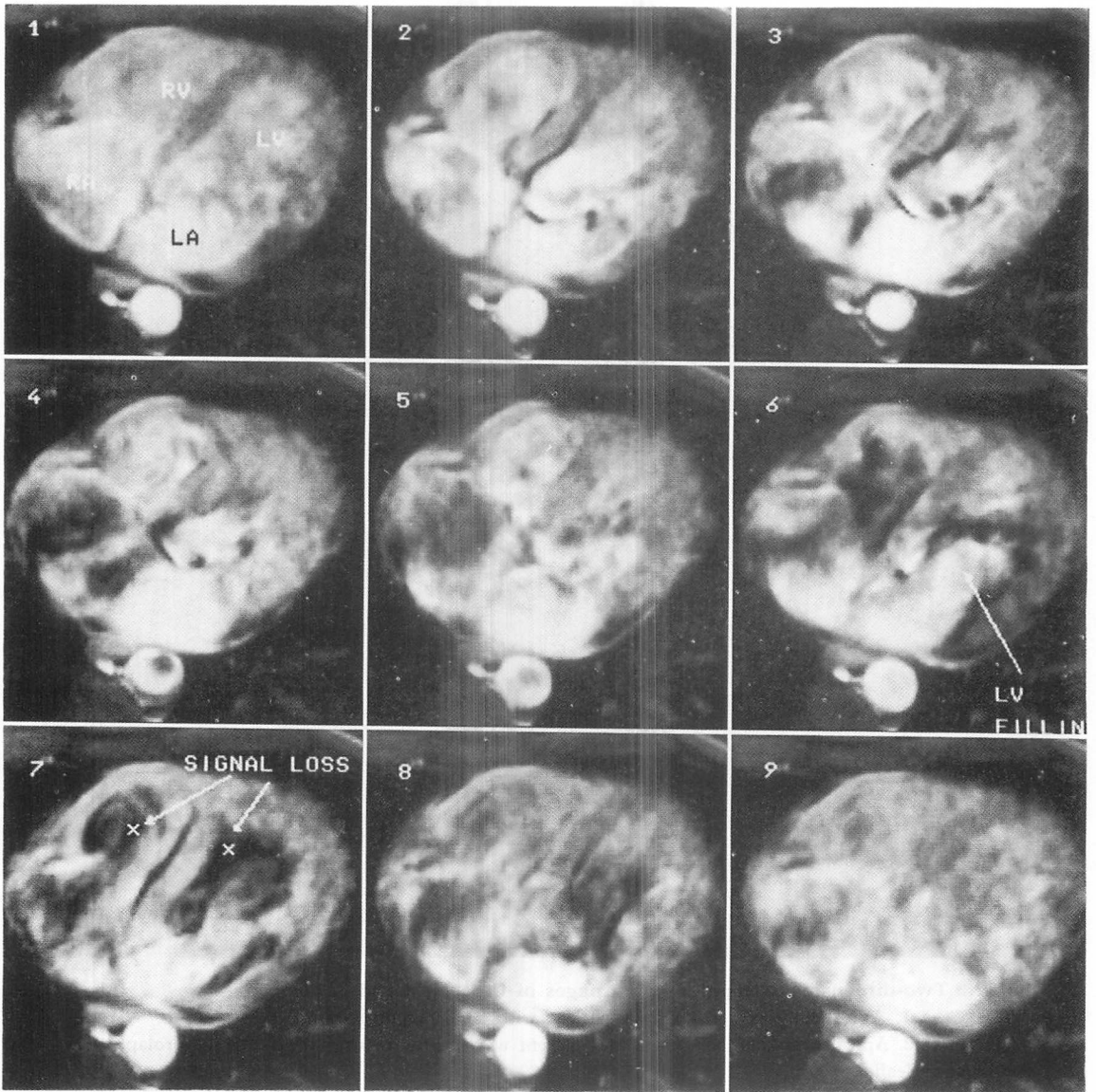


(A)

Fig. 1. Nine consecutive cine MR images of a healthy volunteer obtained during coronal (A) and transaxial scans (B).

Image 1 of each scan is obtained 15 msec after the R wave of the electrocardiogram, and subsequent images at 90 msec intervals thereafter. Intracavitary blood has higher signal intensities than those of the surrounding structures.

A: Note area of low signal intensity in the ascending aorta during systole, related to left ventricular ejection (images 3, 4 and 5). During diastole, there is an area of low signal intensity in the left ventricle, possibly related to rapid filling (images 7 and 8).



(B)

B: Four cardiac chambers are visualized. Note an area of high signal intensity related to the influx of atrial blood into the left and right ventricles (image 6). Low signal areas during ventricular filling are also shown on this scans (images 7 and 8).

無信号領域として描出し、その形状を fan-shape と報告しており¹¹⁾、我々の成績もそれと一致する。横断面像においても大動脈弁逆流は認められ

たが、多くの場合、心臓の拍動に伴う動きのために撮像スライスと逆流部位にずれを生じ、心周期を通じての逆流の描出は困難であった。また逆流

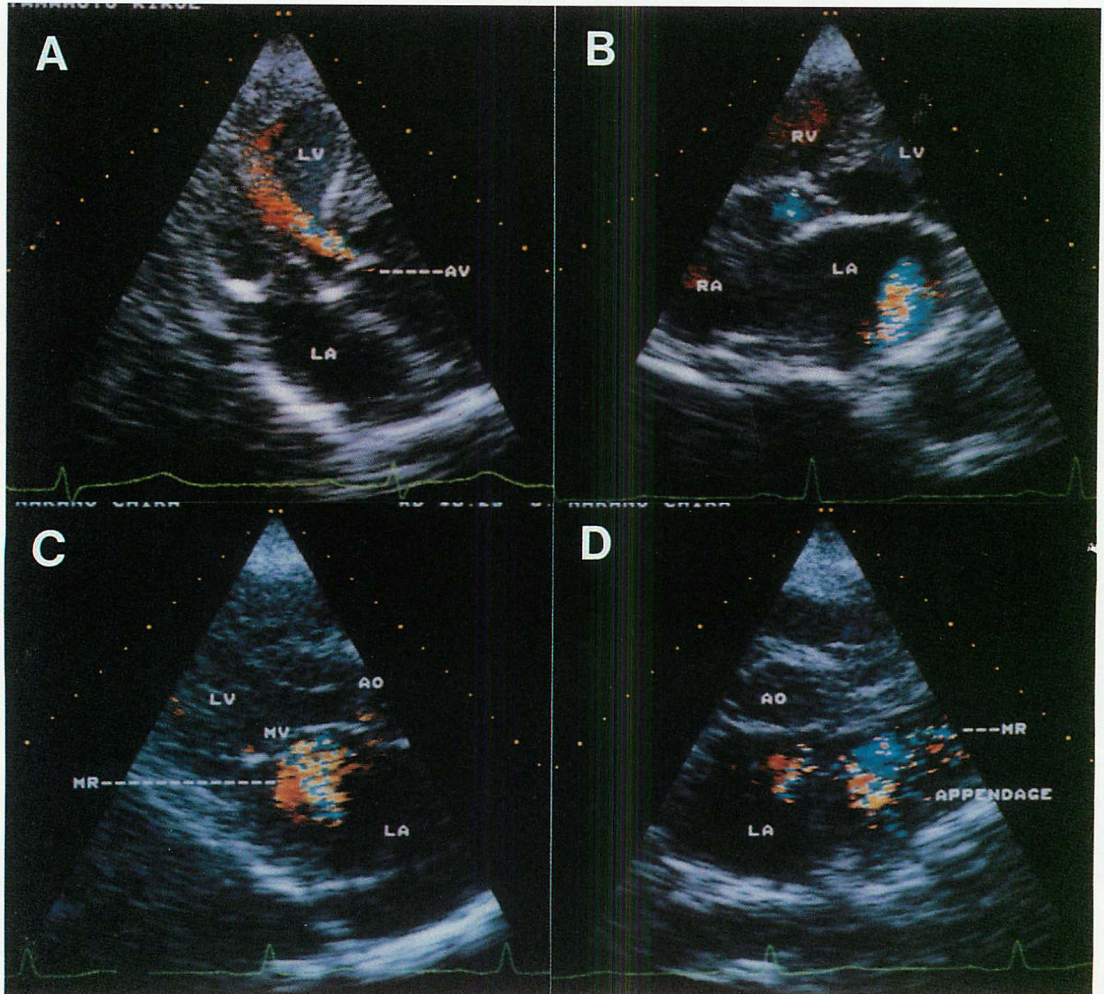


Fig. 2. Two-dimensional Doppler flow images of Cases 1, 2 and 3.

A) Case 1. Apical long-axis image in a patient with aortic regurgitation.

B) Case 2. Apical four-chamber image in a patient with mitral regurgitation due to prolapse of the anterior leaflet.

C and D) Case 3. Parasternal long-axis and short-axis images in a patient with mitral regurgitation due to rupture of the chordae tendinae. Note regurgitant signal in the left atrial appendage (D).

ジェットと撮像断面との成す角度が大きく、逆流の定量化には適さないと考えられた。

大動脈弁逆流の診断においても一つの重要な点は、拡張期に左心房から左心室への流入血流により生じる無信号領域であり、健常人においても、拡張期左心室内に無信号領域を認めた。この

2種類の無信号領域は、①大動脈弁との関係、②その形状、③冠状断面において撮像スライスの位置を考慮することにより識別し得る。

僧帽弁逆流および三尖弁逆流は横断面像において無信号領域として描出された。MRIにより両疾患を評価する上での最大の特徴は、撮像断面内

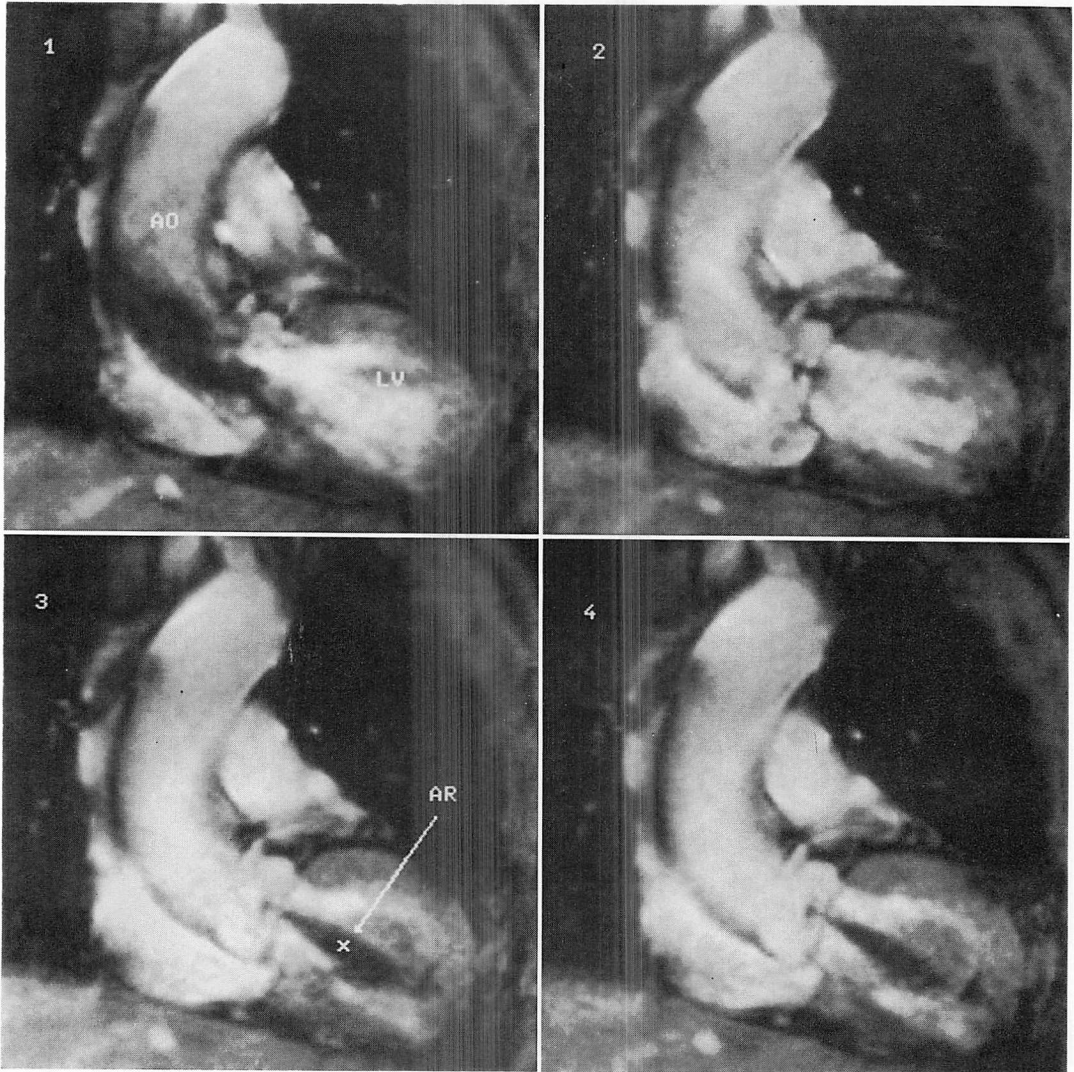


Fig. 3. Coronal images in a patient with aortic regurgitation (Case 1).

The left ventricular cavity has a high signal intensity during systole (upper left panel). The teardrop-shaped area of a signal loss within the left ventricle originating from the aortic valve orifice is observed in diastole (lower panels).

において周囲臓器や左心房全体を描出でき、多くの場合カラードップラー法よりも広い視野で逆流領域を観察できることである。従来より、超音波法では、僧帽弁逆流の重症度評価に逆流シグナルの僧帽弁口からの到達距離を用いる方法があるが¹²⁾、MRI では逆流の範囲が容易に計測可能で

ある。また、連続スライスのスキャンにより、逆流の三次元的な広がりやを定量的に把握することも可能である。

また僧帽弁および三尖弁の逆流評価には斜位断面も重要である。横断面像の検討に垂直方向の斜位断面を追加することにより、周囲構造と逆流と

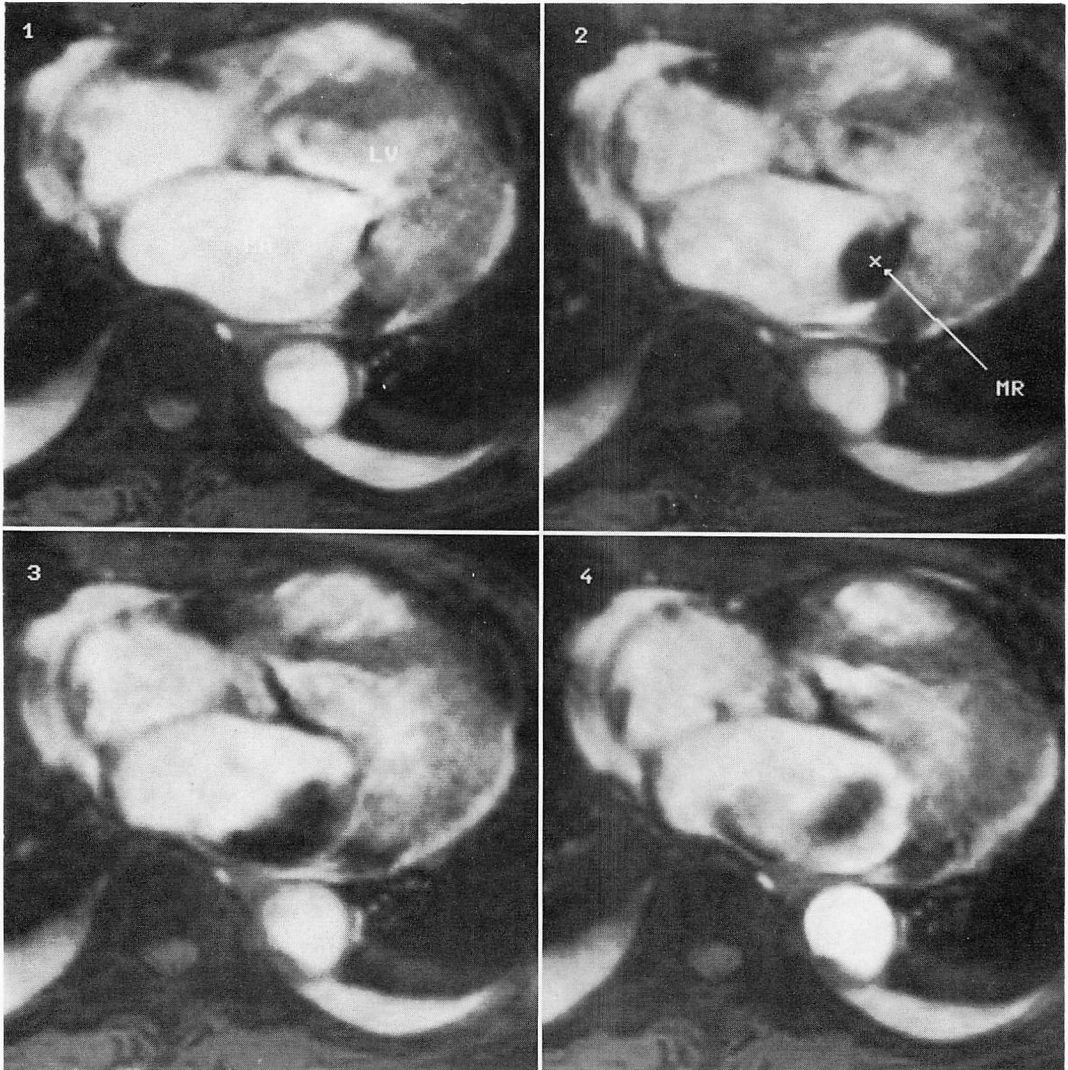


Fig. 4. Four consecutive images in the transaxial plane in a patient with mitral regurgitation due to prolapse of the anterior leaflet (Case 2).

Note an area of a signal loss along the lateral wall of the left atrium during systole (upper right and lower panels).

の解剖学的な位置関係が容易に把握できる。本研究でも腱索断裂による僧帽弁逆流例 (Case 3) においては左心房拡大が高度であり、カラードップラー法では逆流範囲の完全な把握が困難であった。本例のMRIでは、横断面および横断面に垂直で左心室長軸に沿った斜位断面を検討すること

により、左心房内の逆流の広がり を明確に描出し得た。また三尖弁逆流例 (Case 4) でも、右心室流入路の長軸に沿った垂直方向の斜位断面にて、弁口部から下大静脈に及ぶ逆流領域が一度に描出できた。これらはいずれもMRIの弁逆流評価法としての有用性を示すものである。

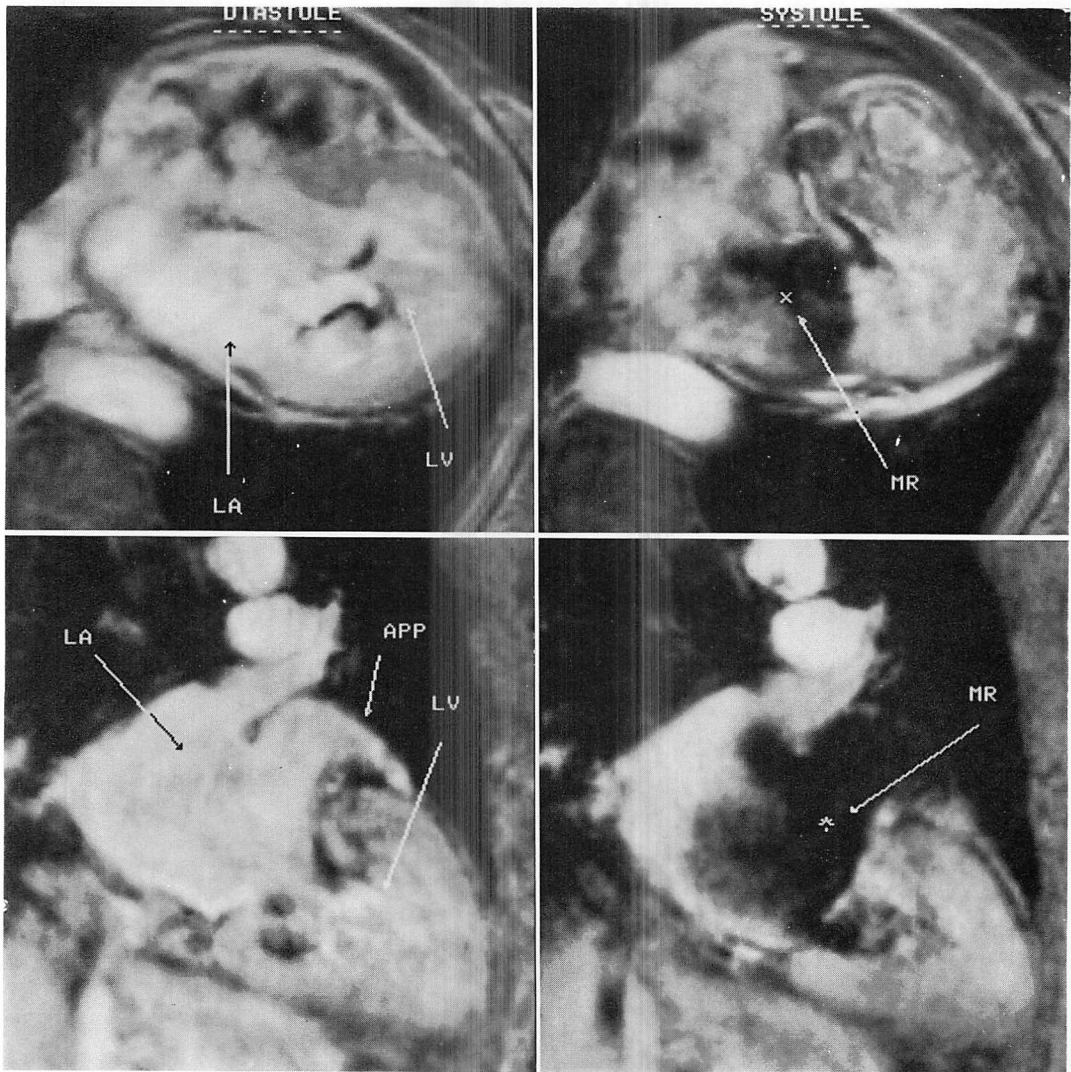


Fig. 5. Transaxial (upper panels) and vertical oblique images (lower panels) in a patient with mitral regurgitation due to rupture of chordae tendineae of the mitral valve (Case 3).

The area of a signal loss in the left atrium during systole is shown on both scans (right panels). Note the signal loss extending into the left atrial appendage on the oblique image (lower right panel), indicating massive mitral regurgitation.

肺動脈弁逆流 (Case 5) の描出には、右心室流出路の長軸に沿った垂直方向の斜位断面像が最も適していた。この理由として、逆流ジェットの方

があげられる。

以上の結果、gradient echo 法を用いた MRI 高速スキャンにより、心腔内血流動態を評価できた。弁逆流は無信号領域として描出され、種々の断面像を得ることにより、逆流の定量的評価も可

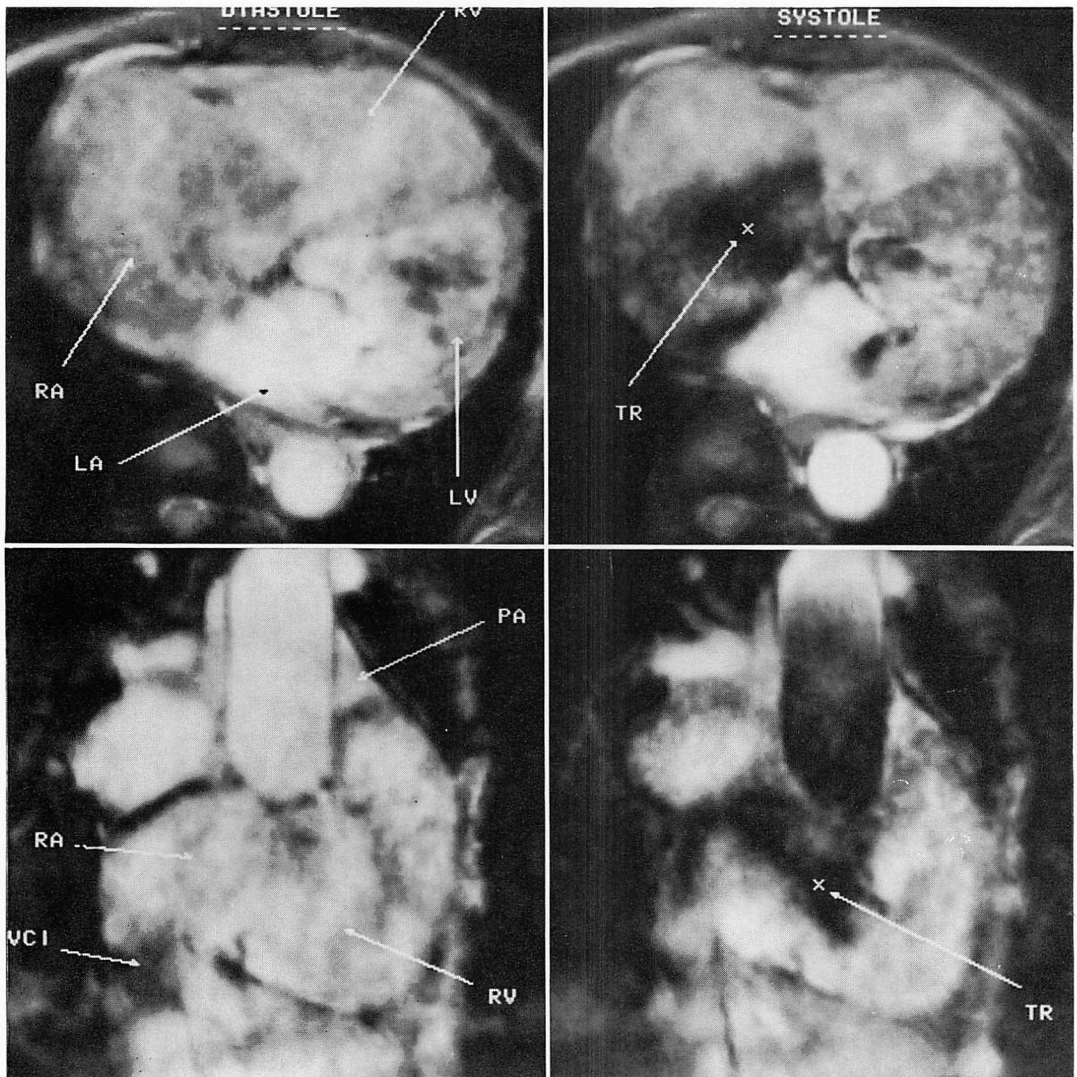


Fig. 6. Transaxial (upper panels) and vertical oblique images (lower panels) in a patient with tricuspid regurgitation (Case 4).

The root of the pulmonary artery, pulmonary valve, right ventricle, right atrium and inferior venae cavae are shown on this oblique images. The area of a signal loss in the right atrium represents massive tricuspid regurgitation, which extends into the inferior venae cavae (lower right panel).

能となり、今後、シネ MRI は弁逆流診断において有用な検査法となることが期待される。

要 約

心腔内血流動態の評価におけるシネ MRI の有

用性を検討するため、高速スキャン法を用いて、健常人および弁逆流症例の MR 像を得た。対象は健常人 3 例、大動脈弁逆流 3 例、僧帽弁逆流 3 例、三尖弁逆流 2 例、肺動脈弁逆流 2 例(男性 5 例、女性 7 例、年齢 31~85 歳)である。弁逆流の

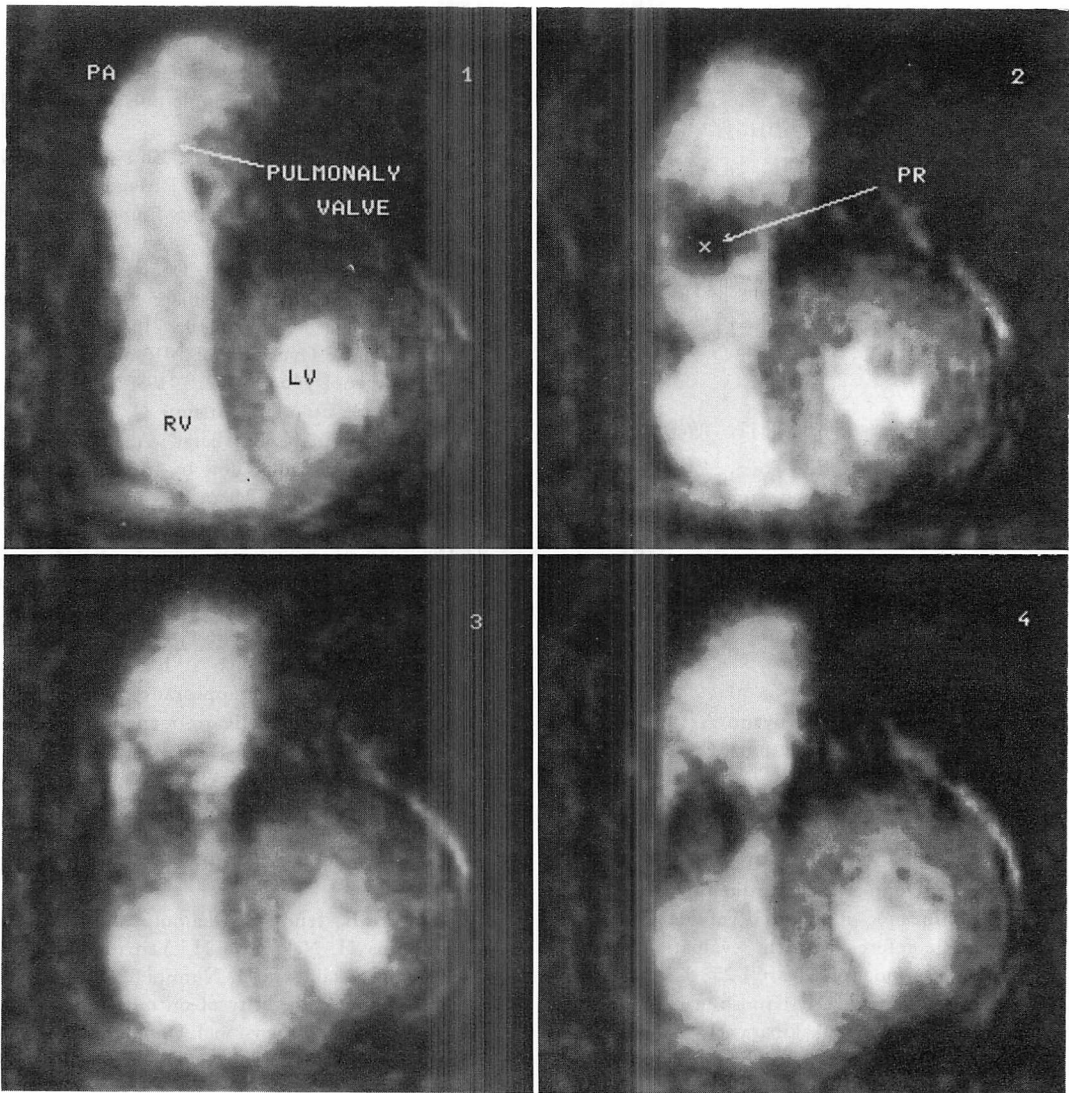


Fig. 7. Four consecutive images in the vertical oblique plane in a patient with pulmonary regurgitation (Case 5).

The area of a low signal intensity within the right ventricular outflow tract originating from the pulmonary valve is observed in diastole (upper right and lower panels).

診断は超音波カラー Doppler 法により行った。使用 MR 装置は 1.5T 超伝導型で、パルス系列は gradient echo による fast low-angle shot (FLASH) 法を用い、flip angle=30°, TR=65~90 msec, TE=10~30 msec とした。一心周期を

11 分割した連続時相の 11 画像を得、これらを CRT 上にシネ表示した。

1. 高速スキャンにより、心腔内血流は心房、心室壁、弁、大動脈などの心臓の構造物よりも高信号に描出された。

2. 得られた連続時相の画像をシネ表示することにより, 心腔内血流を動画として可視化できた.

3. 健常人では収縮期に駆出に伴い, 大動脈内に無信号領域を認め, 拡張期には心房からの流入により左心室に無信号領域を認めた.

4. 弁逆流はいずれも無信号領域として描出された.

5. 大動脈弁逆流は冠状断面で, 僧帽弁および三尖弁逆流は横断面で, 肺動脈弁逆流は斜位断面で良好に描出された.

6. 横断面に垂直な斜位断面は, 僧帽弁, 三尖弁および肺動脈弁逆流の広がり, 周囲の心構造との位置関係を把握する上で有用であった.

以上の結果より, 高速スキュン法によるシネMRIは弁逆流の診断に有用であることが示された.

文 献

- 1) Namekawa K, Kasai C, Koyano A: Imaging of blood flow using autocorrelation. *Ultrasound Med Biol* **8** (Suppl): 138, 1982
- 2) Omoto R, Yokote Y, Takamoto S, Kyo S, Ueda K, Asano H, Namekawa K, Kasai C, Kondo Y, Koyano A: The development of real-time two-dimensional Doppler echocardiography and its clinical significance in acquired valvular diseases: With specific reference to the evaluation of valvular regurgitation. *Jpn Heart J* **25**: 325-340, 1984
- 3) Miyatake K, Okamoto M, Kinoshita N, Izumi S, Owa M, Takao S, Sakakibara H, Mimura Y: Clinical application of new-type of real-time two-dimensional flow imaging system. *Am J Cardiol* **54**: 857-868, 1984
- 4) Haase A, Frahm, J, Matthaei, D, Hänicke W, Merboldt K-D: Flash Imaging: Rapid NMR imaging using low flip-angle pulses. *J Magn Resonance* **67**: 258-266, 1986
- 5) Waterton JC, Jenkins JPR, Zhu XP, Love HG, Isherwood I, Rowlands DJ: Magnetic resonance (MR) cine imaging of the human heart. *Br J Radiol* **58**: 711-766, 1985
- 6) Nayler GL, Firmin DN, Longmore DB: Blood flow imaging by cine magnetic resonance. *J Comput Assist Tomogr* **10**: 715-722, 1986
- 7) Higgins CB: Overview of MR of the heart. *Am J Roentgenol* **146**: 907-918, 1986
- 8) Ohnishi S, Fukui S, Atsumi C, Morita R, Kusooka H, Fujii K, Kitabatake A, Takizawa O: A study of intracardiac flow by MRI using gradient echo method. *Jpn J Magn Resonance* **8**: 3-9, 1988 (in Japanese)
- 9) Deimling M, Mueller E, Lenz G, Barth K, Friltsch P, Seiderer M, Reinhardt ER: Description of flow phenomena in magnetic resonance imaging. *Diagn Imaging Clin Med* **55**: 37-51, 1986
- 10) Bradley WG Jr, Waluch V, Lai K-S, Fernandez EJ, Spalter C: The appearance of rapidly flowing blood on magnetic resonance images. *Am J Roentgenol* **143**: 1167-1174, 1984
- 11) Sechtem U, Pflugfelder PW, White RD, Gould RG, Holt W, Lipton MJ, Higgins CB: Cine imaging: Potential for the evaluation of cardiovascular function. *Am J Roentgenol* **148**: 239-246, 1987
- 12) Miyatake K, Izumi S, Okamoto M, Kinoshita N, Asonuma H, Nakagawa H, Yamamoto K, Takamiya M, Sakakibara H, Nimura Y: Semiquantitative grading of severity of mitral regurgitation by real-time two-dimensional Doppler flow imaging technique. *J Am Coll Cardiol* **7**: 82-88, 1986